



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA - DBI**

**TATIANE COSTA SILVA**

**BIOMONITORAMENTO DA ÁGUA NA SUB-BACIA**  
**HIDROGRÁFICA DO RIO POXIM, SERGIPE**

São Cristóvão

2016.2



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA - DBI**

**TATIANE COSTA SILVA**

**BIOMONITORAMENTO DA ÁGUA NA SUB-BACIA**  
**HIDROGRÁFICA DO RIO POXIM, SERGIPE**

Orientadora: Bianca Giuliano Ambrogi

Co-Orientador: José Dantas de Oliveira

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Sergipe como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Biologia.

São Cristóvão

2016.2

A minha querida vovó Maria da Glória (in memoriam)

*Ela fez questão de ir á missa pedir bênçãos para a caneta  
que eu iria usar na prova do vestibular.*

E a meu passarinho: tia-avó Celestina Rufino (in memoriam).

*Louvado seja, meu bom Senhor  
Pela irmã água e seu valor  
Preciosa e casta, humilde e boa  
Se corre, um canto a ti entoa (São Francisco de Assis)*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente á Deus pelo dom da vida

Aos amores da minha vida, a minha mãe e ao meu pai pelo amor e a educação recebida.

A professora Bianca Ambroggi pelo carinho, confiança e orientação.

Aos professores José Dantas e Leandro Souto pela contribuição na realização deste trabalho.

Ao senhor Ednilson José da Silva, da Deso, pelo apoio na realização das análises físico-químicas e bacteriológica da água. Agradeço também pela pessoa maravilhosa e humilde que és e a todos os meus amigos da Deso.

Ao senhor Pereira Chaves, dirigente do MST, que se disponibilizou nas coletas em campo e foi bastante receptivo em sua casa.

Agradeço a professora Alexandrina Luz e a Ana Consuelo da ADEMA, por me dado uma luz como eu poderia envolver os agrotóxicos com a biologia.

Aos meus amigos Eduardo Oliveira, Dayane Barreto, Keu, Iris e Jéssica Alves pelas resenhas e o apoio na vida acadêmica. E as meninas do Laboratório de Ecologia Química: Rafa ,Ranna, Camila, Juci e Hosana pela amizade.

Agradeço também á vários amigos que fizeram da minha vida acadêmica mais feliz, que se eu fosse citar todos não caberia nessa folha.

Coincidência ou não, quando iniciei a monografia, não me lembrava de que a minha primeira escrita para inserção na universidade tinha sido sobre a água, e agora para a minha saída da universidade, com muito orgulho, venho abordando a água.

A todos que contribuíram pela realização desse trabalho, muito obrigada!

## RESUMO

Os ecossistemas aquáticos estão constantemente sendo contaminados. Muitas das alterações antrópicas não são percebidas pelo homem. Comumente o monitoramento realizado para se estimar a qualidade da água é feito por meio de análises físico-químicas e bacteriológicas, mas muitos pesquisadores têm apontado que só esses parâmetros não são o bastante para avaliar o estado de conservação do ambiente aquático, em especial a poluição causada por contaminação difusa, como os agrotóxicos. O biomonitoramento com o emprego de insetos aquáticos como bioindicadores da qualidade da água está sendo bastante usado em vários países. Os insetos são considerados ótimos biondicadores por refletirem as mudanças ambientais, sendo, portanto, sensíveis ou tolerantes a poluição. O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água do rio Poxim Açu e do rio Poxim Mirim, por meio de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos e também por meio de índices bióticos BMWP, ASPT e EPT, além dos índices ecológicos como abundância, riqueza, diversidade e composição. Para isso foi aplicado o Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats (PARDH), como também foram coletadas amostras de água e insetos em ambos os rios. Foram coletados no total 1077 organismos, distribuídos em oito ordens e 34 famílias. As análises físico-químicas foram inconstantes para estimar a qualidade da água, uma vez que os valores encontrados para diversos parâmetros antes do experimento modificaram dos valores obtidos durante a execução do experimento. Cada índice biótico classificou os rios de formas diferentes, sendo o EPT o que mais se aproximou da realidade de cada rio, reforçando a classificação feita pelo PARDH, em que ambos classificaram o rio Poxim Mirim com o nível de perturbação antrópica alta. Tanto abundância quanto riqueza apresentaram diferença significativa entre os rios, sendo maiores para o rio Poxim Açu, o que indica uma menor perturbação antrópica em relação ao rio Mirim. A composição dos insetos aquáticos também diferiu entre os rios, em razão as diferentes situações em que a água se encontrava, o que corrobora para as diferenças na qualidade da água entre os rios, demonstrando a sensibilidade de algumas espécies em relação a contaminação na água.

**Palavras-Chave:** Qualidade da água; insetos aquáticos, agrotóxicos.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1:</b> Locais onde foram aplicados o protocolo de avaliação rápida de diversidade de habitats e onde foram realizadas as coletas de água e insetos no rio Poxim Açu (pontos A1, A2 e A3) e no rio Poxim Mirim (pontos M1, M2 e M3). ..... | 18 |
| <b>Figura 2:</b> Localização da área de estudo na sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, Sergipe.....   | 19 |
| <b>Figura 3:</b> Local onde existia um córrego, contribuinte do rio Poxim Mirim, totalmente degradado pela prática canavieira. ....   | 20 |
| <b>Figura 4:</b> Ordens dos insetos aquáticos coletados na sub-bacia do Rio Poxim. ....   | 32 |
| <b>Figura 5:</b> Abundância de espécies de insetos aquáticos registrada para os rios Poxim Açu e Mirim.....   | 35 |
| <b>Figura 6:</b> Riqueza de espécies de insetos aquáticos registrada para os rios Poxim Açu e Mirim. ....   | 35 |
| <b>Figura 7:</b> Análise da ordenação do NMDS para composição de espécies de insetos aquáticos para os rios Poxim Açu e Mirim. ....   | 36 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela1</b> : Classificação de acordo pelo PARDH sobre o nível de preservação das condições ambientais dos trechos de bacias hidrográficas.....  | 22 |
| <b>Tabela2</b> : Classificação da qualidade da água pelo índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) modificado IAP/SEMA 2003 .....   | 25 |
| <b>Tabela3</b> : Classificação da qualidade da água de acordo com índice BMWP- ASPT (Average Score Per Taxon).....  | 26 |
| <b>Tabela4</b> : Classificação da qualidade da qualidade da água pelo índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera). ....  | 26 |
| <b>Tabela 5:</b> Resultado das análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água coletadas em três trechos do rio Poxim Açu, localizado no município de São Cristovão-SE e em três trechos no rio Poxim Mirim, localizado no município de Laranjeiras-SE, antes da instalação do experimento..... | 27 |
| <b>Tabela 6:</b> Resultado das análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água coletadas em três trechos do rio Poxim Açu, localizado no município de São Cristovão-SE e em três trechos no rio Poxim Mirim, localizado no município de Laranjeiras-SE. ....                                    | 29 |
| <b>Tabela 7:</b> Famílias de insetos encontradas no rio Poxim Açu, localizado no município de São Cristovão-SE e no rio Poxim Mirim, localizado no município de Laranjeiras-SE, com seus respectivos valores de acordo com o índice BMWP.....   | 31 |



## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>  | <b>12</b> |
| 2.1      | BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....  | 12        |
| 2.2      | CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS POR AGROTÓXICOS.....   | 13        |
| 2.3      | INSETOS AQUÁTICOS COMO BIOINDICADORES.....  | 15        |
| <b>3</b> | <b>OBJETIVOS.....</b>   | <b>16</b> |
| 3.1      | OBJETIVO GERAL .....  | 16        |
| 3.2      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....  | 16        |
| 3.2.1    | Comparar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos entre os rios Poxim Mirim e Açu;.....                              | 17        |
| 3.2.2    | Avaliar a qualidade da água, por meio dos índices bióticos e ecológicos, dos rios Poxim Mirim e Açu; .....                  | 17        |
| 3.2.3    | Analisar qual o índice biótico é mais apropriado para a análise de rios com diferentes níveis de degradação ambiental. .... | 17        |
| <b>4</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>  | <b>17</b> |
| 4.1      | ÁREA DE ESTUDO .....  | 17        |
| 4.2      | COLETA DE CAMPO.....  | 20        |
| 4.2.1    | Amostras De Água .....  | 20        |
| 4.2.2    | Insetos Aquáticos .....   | 21        |
| 4.2.3    | Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats (PARDH) .....  | 21        |
| 4.3      | ANÁLISE DO MATERIAL.....  | 23        |
| 4.3.1    | Insetos .....   | 23        |
| 4.3.2    | Água .....  | 23        |
| 4.4      | ANÁLISES DOS DADOS .....  | 24        |
| 4.4.1    | Índices ecológicos .....  | 24        |
| 4.4.2    | Índices bióticos .....  | 24        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>26</b> |
| 5.1      | PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS.....   | 26        |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 5.2 | INSETOS AQUÁTICOS.....  | 30 |
| 5.3 | PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DA DIVERSIDADE DE HABITAT (PARDH) ..... | 32 |
| 5.4 | ÍNDICES BIÓTICOS.....   | 33 |
| 5.5 | ÍNDICES ECOLÓGICOS .....  | 34 |
| 6   | CONCLUSÃO.....  | 37 |
| 7   | REFERÊNCIAS.....  | 39 |
|     | ANEXOS.....   | 43 |

# 1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos vêm sendo constantemente contaminados por resíduos tóxicos provenientes do lançamento de efluentes industriais e domésticos não tratados, do líquido percolado dos lixões e aterros sanitários em desacordo com as normas ambientais e da prática agrícola, a maior responsável pela contaminação dos recursos hídricos por metais pesados, agrotóxicos e compostos orgânicos (ARIAS *et al.*, 2007).

Desde 2008, o Brasil lidera o ranking de maior consumidor de agrotóxicos do mundo, o que tem proporcionado riscos à saúde e ao meio ambiente (PAVAN, 2014). Identificar a presença de agrotóxicos e de outros poluentes na água nem sempre é uma tarefa fácil (VEIGA *et al.*, 2006). As metodologias tradicionais que dispõem sobre o uso da água, baseado em análises físico-químicas e bacteriológicas, nem sempre revelam a verdadeira situação em que se encontra o ambiente aquático (GOULART & CALLISTO, 2003). A poluição espacialmente difusa e temporalmente variável associada ao uso de agrotóxicos, dificulta analisar os níveis de contaminação na água; e a dificuldade aumenta pela carência de profissionais especializados e equipamentos tecnológicos de alto valor comercial (ARIAS *et al.*, 2007).

A estimativa sobre o estado de conservação de um determinado ecossistema aquático num olhar mais amplo pode ser obtida por meio da biota encontrada (BAPTISTA, 2008). Nos últimos anos o estudo com macroinvertebrados tem se tornado um importante aliado no fornecimento de dados sobre o estado de conservação dos ecossistemas aquáticos (SILVEIRA, 2004). A utilização de insetos como bioindicadores vem contribuindo na avaliação da ação antrópica sobre o meio ambiente (ROCHA *et al.*, 2011). Os insetos aquáticos têm sido utilizados em programas de biomonitoramento por refletirem as mudanças ambientais, se enquadrando desde espécies sensíveis ou tolerantes à contaminação (GOULART & CALLISTO, 2003).

Ressaltando a importância de indicar ferramentas para avaliar a condição do ambiente aquático quanto à presença de poluentes, o presente estudo buscou monitorar rios que trafegam áreas agrícolas para estimar os principais indicadores de contaminação.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Conforme a legislação ambiental é primordial o monitoramento contínuo da água fornecida à população, para que nenhuma doença seja transmitida as pessoas (BARRAGAN, 2009).

Comumente as condições da qualidade da água, como previsto na Resolução CONAMA nº: 357/2005, são avaliadas por parâmetros biológicos (coliformes totais e fecais) e parâmetros físico-químicos, como cor, turbidez, pH, condutividade, nitrogênio e fósforo, e suas formas derivadas, que quando em excesso na água indicam poluição por lançamentos de efluentes domésticos e agrícolas, dificultando o bom funcionamento dos ecossistemas aquáticos (SILVEIRA, 2004). Com o aumento na demanda por água potável e a contínua deterioração dos rios, cresce a necessidade de pesquisas científicas que contribuam para gestão dos recursos hídricos, de modo que revelem com eficiência as condições ambientais e, dessa forma, ajudem a manter a integridade dos ecossistemas aquáticos (SILVEIRA, 2004).

Estudos relacionados a espécies bioindicadores tem se mostrado bons instrumentos na avaliação de impactos antropogênicos nos ecossistemas aquáticos e no biomonitoramento da qualidade da água (HAMADA *et al.*, 2014). As metodologias que colocam as comunidades biológicas como parâmetro no biomonitoramento, são os mais eficazes, por revelar as condições aquáticas de forma simples, rápida e barata (ARIAS *et al.*, 2007). O biomonitoramento que também está previsto na resolução mas é pouco utilizada, consiste na avaliação das mudanças ambientais causadas pelo homem por meio de respostas sistemáticas dos organismos (BUSS *et al.*, 2003). O biomonitoramento admite índices como o Índice Shannon - Wiener de diversidade, que relaciona ao mesmo tempo a riqueza e a equitabilidade, o Índice de Simpson de dominância, relacionando a quantidade de indivíduos de uma determinada espécie com as demais, além dos índices biológicos que abrangem de forma quantitativa e qualitativa a diversidade de espécies, gerando informações sobre o ambiente estudado de acordo com a sua fragilidade as alterações ambientais (GONÇALVES, 2009).

Os poluentes quando entram em contato com a água, podem se acumular nos organismos aquáticos através da própria água e alimento contaminados, conduzindo-os à morte (FAVERO *et al.*, 2005). São essas alterações estruturais e funcionais nas

comunidades que permite perceber que algo de errado está acontecendo em um determinado ambiente, mesmo que aparentemente se encontre em bom estado de conservação (HODKINSON *et al.*, 2005). Deste modo, organismos podem ser utilizados como indicadores ambientais da qualidade da água por responderem a diferentes estresses ambientais (BAGLIANO, 2012).

No intuito de avaliar a qualidade da água e detectar com precisão os impactos gerados pelo uso de poluentes, índices bióticos vêm sendo criados e aprimorados, de modo que possa reduzir as análises que utilizam reagentes químicos para avaliação da qualidade da água (NEUMANN *et al.*, 2002; BAPTISTA *et al.*, 2003). Essas análises além de não estimar a integridade ecológica dos ecossistemas aquáticos, muitas vezes contribui para poluição dos corpos hídricos, pois muito dos resíduos químicos produzido pelas análises químicas são descartados incorretamente (VICTORINO, 2007), formando as bacias hidrográficas um grande poço de diluição de substâncias tóxicas.

## 2.2 CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS POR AGROTÓXICOS

Rios e córregos que cruzam áreas agrícolas são alvos constantes de impactos ambientais, sendo a contaminação por agrotóxicos a principal fonte de poluição dessas águas (BAPTISTA *et al.*, 2003).

Pequenos cursos d'água quando contaminados pelo uso de agroquímicos, não afetam somente a área atingida, e sim, toda a bacia hidrográfica, sendo que o contínuo processo de contaminação das águas dificulta os corpos hídricos de se restaurarem (VICTORINO, 2007). Os agrotóxicos quando disseminados no ambiente aquático se interagem ao meio, ocasionando diversos distúrbios ecológicos, alterando estruturas biológicas como comunidades e ecossistemas (MELLO, 2013). A constante contaminação das águas pode afetar taxas de reprodução, crescimento populacional e o recrutamento das espécies, possibilitando que uma determinada população de organismos deixe de existir (ARIAS *et al.*, 2007). A contaminação difusa relacionada aos insumos agrícolas nem sempre é identificada pelos monitoramentos químicos habituais. Os procedimentos químicos só identificam o momento certo em que as amostras de água são coletadas e não seguem as mudanças espaço-temporal da contaminação (BAPTISTA *et al.*, 2003), além do mais, a produção agrícola não resulta somente em um tipo de produto químico, portanto monitorar e controlar os recursos

hídricos sobre a contaminação por agrotóxicos se torna uma tarefa difícil (MELLO, 2013).

A carência de dados a respeito do impacto dos agrotóxicos prevalece ainda no campo rural, prejudicando diretamente a saúde humana e o meio ambiente (RICARDO, 2012). A visão que se tem sobre o uso de agrotóxicos é que eles ainda são usados somente por grandes produtores rurais, com produção agrícola em larga escala, mas atualmente a utilização por pequenos agricultores tem aumentado (GREGOLIS *et al.*, 2012), e essa demanda crescente por agrotóxicos tem resultado em perdas irreversíveis à biodiversidade, sendo que as consequências causadas pelo seu uso indiscriminado ainda não foram contabilizados (DAL SOGLIO, 2009).

Um dos agravos acometidos pelo uso de agrotóxicos é a contaminação de espécies não alvo, em meio a qual o homem está incluído (RICARDO, 2012). O uso alarmante de agrotóxicos tem refletido na saúde, não só dos produtores rurais que possuem contato direto com o veneno, mas também do consumidor que acaba ingerindo alimento e água contaminados pelos insumos agrícolas (STOPPELLI & MAGALHÃES, 2005). O mau uso e ocupação do solo e das águas têm influenciado na qualidade da água pelo excesso de pesticidas encontrados nos rios brasileiros e mesmo sabendo dos vários problemas causados pelo uso de agrotóxicos, o seu monitoramento ainda não é realizado de forma regular (VICTORINO, 2007).

Sergipe é um dos estados brasileiros que tem como uma das principais atividades econômica, a monocultura da cana-de-açúcar. Dos municípios sergipanos, 28% produzem a cana de açúcar, ocupando extensas áreas rurais que se concentram na região da Grande Aracaju, do Leste Sergipano e em alguns locais do Baixo São Francisco, considerados territórios antigos na produção canavieira (CONCEIÇÃO, 2011). Segundo o Boletim Epidemiológico (volume 44, nº17- 2013), em Sergipe não há registros de monitoramento de agrotóxicos na água para consumo humano. Sem o devido acompanhamento sobre o aumento de agrotóxicos dos últimos anos nas lavouras e como eles podem estar afetando os ecossistemas aquáticos, fica difícil avaliar o quanto os ecossistemas aquáticos vêm sofrendo com a contaminação. Poucas são as informações fornecidas à população sobre as condições em qual se encontram os recursos hídricos. Os processos convencionais de tratamento de água não são capazes de retirar os agrotóxicos e nem outros tipos de contaminantes emergentes na água (REYNOL, 2010). Recentemente um estudo realizado na sub-bacia hidrográfica do Rio Poxim em Sergipe, revelou alto índice de contaminação por herbicidas (BRITO *et al.*, 2011). Não há

garantia de segurança de agrotóxicos em água, quando se pode ocorrer a magnificação trófica ou a bioacumulação (SANTOS *et al.*, 2013; BRITO *et al.*, 2011). Mesmo dentro dos padrões, quantidades baixas de agrotóxicos podem estar afetando as interações ecológicas, eliminando espécies e acarretando problemas no bem estar da população que dependem desse recurso (BUSS *et al.*, 2003).

O mais sensato a se fazer seria evitar que qualquer tipo de poluente alcançasse os corpos d'água, mas os rios brasileiros primeiro são poluídos, para depois se gastar milhões na sua despoluição (VICTORINO, 2007). Assegurar uma água de qualidade significa desenvolver ferramentas eficazes, para que se tenha uma gestão ambiental mais competente (BUUS *et al.*, 2003). Para que partindo desse pressuposto possa se criar medidas mitigadoras dos impactos ambientais causados pelo homem, como criar alternativas na área agrícola para que o uso de pesticidas não fosse uma regra (ALVES & OLIVEIRA-SILVA, 2003).

## 2.3 INSETOS AQUÁTICOS COMO BIOINDICADORES

Dos diversos estudos realizados em campo na avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos, os insetos aquáticos são os organismos que mais se tem trabalhado, por apresentarem todas as condições básicas de bons indicadores ambientais (BUSS *et al.*, 2003). Os insetos são ótimos bioindicadores da qualidade da água por diversos motivos: primeiramente devido a sua grande riqueza e diversidade de espécies, onde mesmo em corpos d'água de pequeno porte podem apresentar esses requisitos (BUSS *et al.*, 2003); facilidade na amostragem e na identificação e fragilidade as pequenas mudanças ambientais (GOULART & CALLISTO, 2003; CALLISTO *et al.*, 2005). Além desses fatores, a maioria dos insetos aquáticos utilizados para realização dos índices bióticos apresentam taxonomia e conhecimento biológico bem definido, sedentarismo e ciclo de vida curto, fornecendo assim, dados contínuos das mudanças ambientais em sua região (FREITAS *et al.*, 2006).

Os insetos por serem considerados bons indicadores, são capazes de responder se um ecossistema aquático está sendo afetado pelo uso constante de insumos agrícolas e outros poluentes. Os impactos gerados pelo uso de agrotóxicos refletem nas comunidades aquáticas de acordo com a toxicidade dos compostos aplicados e o tempo que o ambiente fica exposto ao contaminante (NEUMANN *et al.*, 2002).

Diversos índices com embasamento na amostragem de macroinvertebrados

bentônicos são usados mundialmente para estimar a qualidade da água (MANCINI *et al.*, 2005). Dentre os índices bióticos comumente utilizados pode-se citar: o índice BMWP (Biological Monitoring Work Party Scoring System), que se baseia na identificação dos insetos até em nível de família, dando valores com a pontuação máxima até 10, de acordo com sua sensibilidade a poluição, portanto quanto mais famílias sensíveis, mais alto é o valor recebido e vice versa; o índice BMWP'-ASPT (Average Score Per Taxon), que surgiu de modo a aprimorar o BMWP, ele consiste na média dos valores encontrados para cada família e o índice EPT (Percentage of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera) que avalia as condições da água de acordo com a alta sensibilidade que essas três ordens apresentam, pois a maioria dos organismos que compõem as mesmas são bastante exigentes em relação à qualidade da água, portanto quanto maior for a abundância relativa desses organismos, melhores serão as condições da água (GONÇALVES, 2009).

Entre outras ferramentas, ainda pode-se destacar o PARDH (Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats), que analisa o grau de impactos antrópicos em trechos da bacia hidrográfica conforme as características físicas ambientais visuais. Sua avaliação corresponde a um somatório de pontos, que atribuída a cada parâmetro sugere o estado do ambiente (CALLISTO *et al.*, 2002).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a qualidade da água de dois rios com diferentes níveis de perturbação por meio de índices bióticos e parâmetros físico-químicos.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**



**3.2.1 Comparar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos entre os rios Poxim Mirim e Açu;**

**3.2.2 Avaliar a qualidade da água, por meio dos índices bióticos e ecológicos, dos rios Poxim Mirim e Açu;**

**3.2.3 Analisar qual o índice biótico é mais apropriado para a análise de rios com diferentes níveis de degradação ambiental.**

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 ÁREA DE ESTUDO**

A sub-bacia hidrográfica do Rio Poxim está posicionada entre as coordenadas geográficas 11°01' e 10°47' de latitude Sul e 37°01' e 37°24' de longitude Oeste, envolvendo os municípios de Aracaju, São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro, Laranjeiras, Itaporanga d'Ajuda e Areia Branca (VASCO *et al.*, 2011). Essa sub-bacia tem como afluentes os rios Poxim-Mirim e Poxim-Açu, os quais foram utilizados como locais de coleta no presente estudo.

O clima predominante na região é o tropical úmido, com período seco que se estende a partir do mês de setembro até março, com temperatura média de 31°C para os meses mais quentes, que corresponde ao período entre os meses de dezembro a fevereiro. O período chuvoso geralmente se inicia no mês de abril e se estende até agosto, com temperatura média de 23°C para os meses mais frios correspondentes ao mês de junho a agosto, apresentado precipitação pluvial média anual com variação entre 1.600 e 1.900 mm (SOARES, 2001).

Para realização deste estudo foram feitas coletas em três pontos distantes de no mínimo 100 metros no rio Poxim Açu e em três pontos no rio Poxim Mirim (Figura 1). Os pontos referentes ao rio Poxim Açu foram identificados como A1, A2 e A3 e os pontos do rio Poxim Mirim como M1, M2 e M3. Ambos os rios estão situados em zona rural, atravessando durante seu percurso diversas propriedades agrícolas.

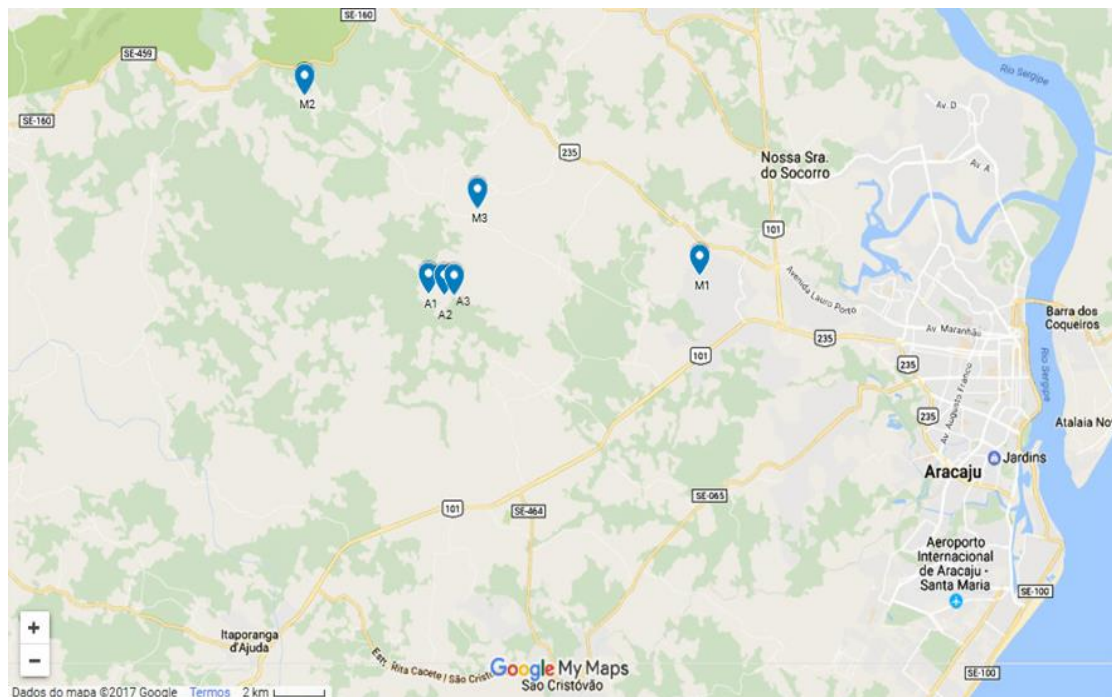
No rio Poxim Açu as coletas foram feitas na área da Barragem do Poxim, onde também se localiza o Sítio Arqueológico Goiabeira, próximo ao assentamento Rosa Luxemburgo, no município de São Cristóvão/SE. No rio Poxim Mirim as coletas foram feitas dentro da área de canavial pertencente a Usina São José do Pinheiro de Açúcar e Álcool, localizada no município de Laranjeiras/SE (Figura 2).



**Figura 1:** Locais onde foram aplicados o protocolo de avaliação rápida de diversidade de habitats e onde foram realizadas as coletas de água e insetos no rio Poxim Açu (pontos A1, A2 e A3) e no rio Poxim Mirim (pontos M1, M2 e M3).

A escolha do local de estudo foi a partir de pesquisas em campo e levantamento de dados sobre a qualidade da água (BRITO *et al.*, 2011; VASCO *et al.*, 2011; ALVES *et al.*, 2007). Em janeiro de 2017, durante o período seco, correspondendo a duas semanas antes da instalação do experimento foram feitas coletas de água com a finalidade de realizar análises preliminares dos parâmetros físico-químicos e

microbiológicos (condutividade, cor, turbidez, pH, ferro, manganês, amônia, nitrato, nitrito, fósforo, cloreto, fluoreto, sulfato, bromato, cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto, carbono orgânico total, glifosato, coliformes totais e fecais) no rio Poxim Açu e no rio Poxim Mirim. A partir desses resultados foi determinado os pontos de coleta.



**Figura 2:** Localização da área de estudo na sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, Sergipe.

O motivo pelo qual os pontos do rio Poxim Açu foram próximos foi devido a dificuldade em acessar alguns trechos do rio. O acesso a outras localidades somente seria possível por dentro d'água. Em alguns trechos, a cobertura vegetal em torno do rio era mais fechada, o que dificultaria tanto a coleta como a triagem dos insetos. Já o motivo pelo qual os pontos do rio Poxim Mirim foram distantes um do outro foi devido ao déficit de água. Em alguns trechos, era notória a existência de córregos que secaram por conta do impacto gerado pelo canavial (Figura 3). A prática canavieira comprometeu para a baixa vazão do rio. Foi preciso percorrer pontos em que o fluxo de água fosse mais elevado, para que esse fator não interferisse muito nos resultados ao comparar os rios. As amostras de água foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Água localizado na Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO). O



procedimento nas coletas de água seguiu as exigências orientadas pela DESO, que segue a Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.



**Figura 3:** Local onde existia um córrego, contribuinte do rio Poxim Mirim, totalmente degradado pela prática canavieira.

## 4.2 COLETA DE CAMPO

### 4.2.1 Amostras De Água

Em cada ponto do rio Poxim Açu e do rio Poxim Mirim, foram coletadas amostras de água para as análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água.

Para cada ponto amostrado foram utilizados dois frascos, um esterilizado para as análises bacteriológicas, e o outro específico para as análises físico-químicas. Todos os frascos utilizados na coleta foram cedidos pelo Laboratório de Análises de Água da DESO. Após a cada coleta, as amostras de água eram etiquetadas para a sua devida

identificação, de acordo com o seu ponto de coleta e acondicionadas em caixa isotérmica com gelo, para manter a refrigeração até a realização das análises.

As amostras foram levadas para o laboratório para a realização das seguintes análises: oxigênio dissolvido, condutividade, cor, turbidez, pH, ferro, manganês, amônia, nitrato, nitrito, fósforo, cloreto, fluoreto, sulfato, bromato, cálcio, magnésio, potássio, sódio, cloreto, carbono orgânico total e glifosato, além das análises microbiológicas que foram as de coliformes totais e coliformes fecais.

#### 4.2.2 Insetos Aquáticos

Os insetos aquáticos foram coletados no dia 26 de janeiro de 2017, período correspondente à época seca. As coletas em cada ponto do rio Poxim Açu e do rio Poxim Mirim tiveram duração de uma hora, dividida em meia hora para coleta dos insetos e meia hora para a triagem do material coletado.

A coleta foi feita por meio do arraste de peneiras de fundo com malha de 0,5mm fixadas em cabos de madeira em um percurso de aproximadamente 20 metros de comprimento em cada ponto, no intuito de abranger vários nichos ecológicos. O material coletado contendo folhas, seixos e sedimentos foram derramados em bandejas plásticas e triados com o auxílio de pinças. Todos os insetos encontrados foram separados e fixados em álcool 70% e posteriormente levados para laboratório de Ecologia Química (LAEQ) do Departamento de Ecologia (DECO) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

#### 4.2.3 Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats (PARDH)

Em cada ponto do rio Poxim Açu e do rio Poxim Mirim também foi aplicado o PARDH - Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats sugerido por Callisto e colaboradores (2002). Esse protocolo é constituído por dois quadros: o primeiro modificado do protocolo de Agência de Proteção Ambiental de Ohio nos Estados Unidos (EPA, 1987) (Anexo 1) e o segundo modificado do protocolo de Hannaford et al. (1997) (Anexo 2).

O protocolo consiste em avaliar as condições do ambiente aquático por meio dos aspectos ambientais em observação em campo. Tanto a primeira como a segunda tabela

fundamenta-se em estimar as características dos locais pertencentes à bacia hidrográfica. Cada tabela possui parâmetros, onde lhe são atribuídos uma pontuação sobre as condições do habitat. Os valores dado a cada parâmetro seguem de acordo ao nível de impacto e o grau de conservação das condições naturais, conforme as observações feitas em campo. A primeira vai de 0 a 4 pontos e a segunda tabela de 0 a 5 pontos.

A avaliação do habitat é feita após o somatório de cada parâmetro. Sua classificação segue de acordo com os valores de referência obtidos em tabela (Tabela 1).

**Tabela 1.** Classificação de acordo pelo PARDH sobre o nível de preservação das condições ambientais dos trechos de bacias hidrográficas.

| <b>Classificação</b> | <b>Pontuação</b> |
|----------------------|------------------|
| Impactados           | 0 a 40           |
| Alterados            | 41 a 60          |
| Naturais             | > 61             |

### 4.3 ANÁLISE DO MATERIAL

#### 4.3.1 Insetos

O material coletado em campo foi levado para o LAEQ onde foi feita uma nova triagem e contagem dos insetos. Os insetos coletados foram identificados até o nível de família, com a ajuda de lupa, pinça e literatura especializada (MUGNAI *et al.*, 2010). Em seguida foi realizada uma nova separação de acordo com o seu morfotipo e armazenados em frascos menores contendo álcool 70%. Cada frasco foi etiquetado de acordo com o ponto onde foi encontrado. Os dados coletados foram organizados em planilha do Excel, para realização das análises dos dados.

#### 4.3.2 Água

Para as amostras de água foram realizados diferentes procedimentos. Para a análise bacteriológica, foi usada a técnica de membrana filtrante, que permite quantificar o nível de coliformes presentes na água e o manganês foi determinado pelo método de Perfulsato. No parâmetro turbidez, as determinações foram feitas utilizando o aparelho denominado Turbidímetro da Policontrol AP2000. Para as análises de pH foi utilizado o pHmetro da Policontrol, já para análises de ferro o aparelho utilizado foi o espectrofotômetro, modelo DR 3900. A determinação do oxigênio dissolvido foi medida através do aparelho oxímetro modelo HACH HQ40D. O carbono orgânico total foi determinado através do equipamento GE Autosampler. A condutividade foi medida através do aparelho condutivímetro, modelo HANNA instruments HI 2221. Os demais parâmetros (sódio, potássio, nitrato, nitrito, amônia, glifosato, cálcio, brometo, bromato, sulfato, magnésio, sódio, cloreto, clorito, fluoreto) foram analisados por meio de cromatografia líquida. Todos os resultados obtidos foram agrupados em planilha do Excel para depois serem comparados com os parâmetros estabelecidos pela Resolução CONAMA nº: 357/2005.

## 4.4 ANÁLISES DOS DADOS

### 4.4.1 Índices ecológicos

Para comparar a abundância, a riqueza e a diversidade (Índice de Shannon) entre os rios Poxim Açu e Poxim Mirim, foi realizado o teste t utilizando o software R Statistic (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2014). Para avaliar a composição foi realizado um NMDS usando o software Past.

### 4.4.2 Índices bióticos

Foram avaliados três índices bióticos, o BMWP, o BMWP (ASPT) e o EPT para cada rio. Para a avaliação da água através do índice BMWP foi necessário a identificação dos insetos até o nível de família. Neste índice, o grau de sensibilidade é pontuado de 1 a 10 (quanto maior a sensibilidade dos macroinvertebrados ao ambiente, maior a pontuação), sendo somados os valores referentes às famílias encontradas em uma localidade (Anexo 3). Quanto maior o resultado da soma, mais preservada é a localidade estudada (BUSS *et al.*, 2003) (Tabela 2).



**Tabela 2.** Classificação da qualidade da água pelo índice BMWP (Biological Monitoring Working Party) modificado IAP/SEMA 2003

| Cor            | Valor Significado  | Qualidade             | Classe |
|----------------|--|-----------------------|--------|
| LILÁS          | > 150 • Águas muito limpas (águas pristinas)                                     | ÓTIMA                 | I      |
| AZUL<br>ESCURO | 121 - 150 • Águas limpas, não poluídas ou sistema perceptivelmente não alterado. | BOA                   | II     |
| AZUL<br>CLARO  | 101 - 120 • Águas muito pouco poluídas, ou sistema já com um pouco de alteração  | ACEITÁVEL             | III    |
| VERDE          | 61 - 100 • São evidentes efeitos moderados de poluição                           | DUVIDOSA              | IV     |
| AMARELO        | 36 - 60 • Águas contaminadas ou poluídas (sistema alterado)                      | POLUÍDA               | V      |
| LARANJA        | 16 - 35 • Águas muito poluídas (sistema muito alterado)                          | MUITO POLUÍDA         | VI     |
| VERMELHO       | < 16 • Águas fortemente poluídas (sistema fortemente alterado)                   | FORTEMENTE<br>POLUÍDA | VII    |

O índice BMWP-ASPT utiliza o mesmo quadro de famílias do índice BMWP, mas o seu valor é obtido por meio da divisão do resultado do BMWP pela riqueza de famílias pontuadas. A classificação segue de acordo com o valor encontrado na tabela de classificação do BMWP – ASPT (Tabela 3).

**Tabela 3.** Classificação da qualidade da água de acordo com índice BMWP- ASPT (Average Score Per Taxon).

| <b>Avaliação da qualidade da água</b> | <b>Valor BMWP-ASPT</b> |
|---------------------------------------|------------------------|
| Água limpa                            | >6                     |
| Qualidade duvidosa                    | 5-6                    |
| Provável poluição moderada            | 4-5                    |
| Provável poluição severa              | <4                     |

O índice EPT avalia a qualidade da água por meio da divisão da abundância relativa das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera presentes na amostragem pelo número total de indivíduos da amostra. O resultado obtido pelo cálculo é comparado com a tabela de classificação EPT para avaliação da qualidade da água (Tabela 4).

**Tabela 4.** Classificação da qualidade da qualidade da água pelo índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera).

| <b>Qualidade da Água</b> | <b>EPT %</b> |
|--------------------------|--------------|
| Muito Boa                | 75% - 100%   |
| Boa                      | 50% - 74%    |
| Regular                  | 25% - 49%    |
| Ruim                     | 0% - 24%     |

## **5 RESULTADOS e DISCUSSÃO**

### **5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS**

As águas do rio Poxim Açu e do rio Poxim Mirim foram avaliados de acordo com a Resolução CONAMA nº: 357/2005 que estabelece as condições e padrões de qualidade de água. Conforme a resolução, os rios em estudo estão atualmente classificados como Água Doce, Classe 1, para o rio Poxim Açu e Água Doce, Classe 2 para o rio Poxim Mirim. Essa classificação é recebida de acordo com o grau de

salinidade encontrado na água e os seus usos preponderantes. A partir do enquadramento, cada rio com sua correspondente classe, deve obedecer a um determinado padrão de qualidade que está na Resolução, e esse padrão deve ser mantido ao modo de garantir a saúde humana e animal e a preservação da vida aquática (NASCIMENTO *et al.*, 1998). Ambos os rios são destinados ao abastecimento público.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos a partir das análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água realizadas no rio Poxim Açú e no Rio Poxim Mirim, feitas antes da execução do experimento.

**Tabela 1.** Resultado das análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água coletadas em três trechos do rio Poxim Açú, localizado no município de São Cristovão-SE e em três trechos no rio Poxim Mirim, localizado no município de Laranjeiras-SE, antes da execução do experimento.

| Parâmetros               | Local das coletas |        |        |                               |        |        | Padrão<br>Classe1 | Padrão<br>Classe 2 |
|--------------------------|-------------------|--------|--------|-------------------------------|--------|--------|-------------------|--------------------|
|                          | Rio Poxim Açú     |        |        | Rio Poxim Mirim<br>(canavial) |        |        | CONAMA<br>357/05  | CONAMA<br>357/05   |
|                          | A1                | A2     | A3     | M1                            | M2     | M3     |                   |                    |
| <b>Turbidez</b>          | 16                | 3,2    | 13     | 12,3                          | 9,9    | 8,1    | até 40 NTU        | até 100NTU         |
| <b>Ph</b>                | 5,8               | 7,2    | 7,6    | 7,5                           | 7      | 7,4    | 6,0 a 9,0         | 6,0 a 9,0          |
| <b>Ferro</b>             | 0,5*              | 0,4*   | 0,5*   | 1,32*                         | 1,31*  | 1,38*  | 0,3mg/L Fe        | 0,3mg/L Fe         |
| <b>Fluoreto</b>          | 0,01              | 0,07   | 0,01   | 0,06                          | 0,06   | 0,09   | 1,4mg/L F         | 1,4mg/L F          |
| <b>Cloreto</b>           | 18,32             | 18,56  | 24,89  | 27,03                         | 22     | 28,84  | 250 mg/L Cl       | 250 mg/L Cl        |
| <b>Nitrito</b>           | nd                | nd     | nd     | nd                            | nd     | 0,01   | 1,0 mg/L N        | 1,0 mg/L N         |
| <b>Nitrato</b>           | nd                | nd     | nd     | 1,16                          | nd     | 0,09   | 10,0 mg/L N       | 10,0 mg/L N        |
| <b>Amonia</b>            | nd                | nd     | nd     | nd                            | nd     | nd     | 0,02 mg/l NH3     | 0,02 mg/l NH3      |
| <b>Sulfato</b>           | 2,91              | 2,36   | 3,18   | 3,48                          | 5,15   | 4,66   | 250 mg/L SO4      | 250 mg/L SO4       |
| <b>Manganês</b>          | <0,02             | <0,02  | <0,02  | <0,02                         | <0,02  | <0,02  | 0,1 mg/L Mn       | 0,1 mg/L Mn        |
| <b>Fosforo</b>           | 0,069*            | 0,036* | 0,012  | 0,126*                        | 0,171* | 0,116* | 0,025 mg/L P      | 0,025 mg/L P       |
| <b>Glifosato</b>         | nd                | nd     | nd     | 33,18                         | 102,1* | nd     | 65 µg/L           | 65 µg/L            |
| <b>Coliformes totais</b> | 4600*             | 3200*  | 2600*  | 5450*                         | 1900   | 4450   | <1000UFC/100mL    | <5000UFC/100mL     |
| <b>Coliformes Fecais</b> | 40                | 175    | 100    | 20                            | 10     | 35     | <200UFC/100mL     | <1000UFC/100mL     |
| <b>Clorito</b>           | 0,214             | 0,225  | 0,365  | nd                            | nd     | nd     | **mg/L            | **mg/L             |
| <b>Sódio</b>             | 11,473            | 14,082 | 16,896 | 20,298                        | 17,316 | 21,108 | **mg/L Na         | **mg/L Na          |
| <b>Potássio</b>          | 0,171             | 0,466  | 0,556  | 1,441                         | 1,038  | 1,437  | **mg/L K          | **mg/L K           |
| <b>Magnésio</b>          | 1,128             | 3,209  | 4,314  | 4,527                         | 5,381  | 5,925  | **mg/L Mg         | **mg/L Mg          |
| <b>Cálcio</b>            | 1,982             | 14,168 | 16,185 | 9,451                         | 17,701 | 26,683 | **mg/L Ca         | **mg/L Ca          |
| <b>TOC</b>               | 3,99              | 3,23   | 2,98   | 3,64                          | 3,42   | 6,79   | **mg/L NPCO       | **mg/L NPCO        |
| <b>Condutividade</b>     | 75,5              | 147,2  | 200,1  | 165,7                         | 214,6  | 276,6  | **µS/cm           | ** µS/cm           |
| <b>Bromato</b>           | nd                | nd     | nd     | 0,021                         | nd     | nd     | **mg/L            | **mg/L             |
| <b>Brometo</b>           | nd                | nd     | nd     | 0,051                         | 0,068  | 0,054  | **mg/L            | **mg/L             |

\* Valor acima do padrão, de acordo com a resolução CONAMA nº: 357/2005, \*\* Não se encontra na Resolução CONAMA nº:357/2005, nd Valor não detectado pelas análises.

Seguindo os parâmetros disponíveis na resolução CONAMA nº: 357/2005, os resultados apontaram uma reduzida qualidade da água para o rio Poxim Mirim. As análises demonstraram a presença de glifosato, que é um principio ativo herbicida, além

da presença de nitrato, nitrito e fósforo no rio Poxim Mirim, o que sugere a presença de agrotóxicos, uma vez que são compostos químicos presentes em grande quantidade nesses insumos. Essas análises também apresentaram valores de fósforo, ferro, coliformes totais e o glifosato, acima do padrão estabelecido pela resolução. Em um estudo realizado por Brito et al. (2011) no rio Poxim Mirim, também foram detectados compostos que indicam a presença de agrotóxicos acima do valor permitido para leis internacionais para água destinada ao consumo humano. Esses dados demonstram que o Poxim Mirim é um rio que sofre constantemente contaminação por agrotóxicos. Esses resultados eram esperados para essa localidade, por ser uma área de grande influência do canal.

No rio Poxim Açu os valores para fósforo, ferro e coliformes totais também se encontraram acima do padrão estabelecido pela resolução CONAMA nº: 357/2005. Em outro estudo realizado na sub-bacia do rio Poxim por Do Vasco et al. (2011), os valores encontrados para nitrogênio e fósforo foram maiores para o rio Poxim Mirim e Açu, situados na porção alta da sub-bacia onde apresenta atividade agrícola, em comparação aos outros rios que pertencem a sub-bacia hidrográfica do rio Poxim. A presença de fósforo não descarta a hipótese que possa haver uma baixa contaminação por agrotóxicos, mas os índices encontrados podem ser também devido a ocorrência de fezes. Por se tratar de uma área próxima a pastagens, foi muito observada em campo a presença de fezes bovinas próximas a água, o que pode ter influenciado nos resultados para o fósforo. Tanto o nitrogênio quanto o fósforo são elementos químicos que podem chegar aos corpos d'água por meio da aplicação de agrotóxicos ou fertilizantes nas lavouras, do processo erosivo do solo e do escoamento superficial da água ou pela decomposição de matéria orgânica biodegradável presente no solo e na água, como, por exemplo, as fezes (REZENDE, 2002; FAY & SILVA, 2006).

A partir dos resultados obtidos da coleta de água feita durante a execução do experimento (Tabela 6), foi visto que o rio Poxim Açu foi o que menos atendeu aos requisitos para qualidade da água, segundo a resolução CONAMA nº: 357/2005. Os resultados apontaram a qualidade da água mais comprometida para o rio Poxim Açu devido ao alto índice de contaminação por coliformes totais.

Os parâmetros sódio, potássio, magnésio, cálcio, cloreto, clorito, fluoreto, sulfato, brometo e bromato não são usados como parâmetros para estimar a qualidade da água pela resolução, mas suas concentrações na água podem indicar se está ocorrendo interferência humana. Esses componentes químicos, se encontrados em concentrações

elevadas no ambiente aquático apontam uma ação antrópica, que podem ter origem de diversas fontes de poluição, inclusive a prática agrícola convencional, que utiliza em excesso os agrotóxicos (SILVEIRA, 2014).

**Tabela 2.** Resultado das análises físico-químicas e bacteriológicas das amostras de água coletadas em três trechos do rio Poxim Açu, localizado no município de São Cristóvão-SE e em três trechos no rio Poxim Mirim, localizado no município de Laranjeiras-SE.

| Parâmetros          | Locais de coleta |        |        |                 |        |            | Padrão                               | Padrão                               |
|---------------------|------------------|--------|--------|-----------------|--------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                     | Rio Poxim Açú    |        |        | Rio Poxim Mirim |        |            | Classe 1                             | Classe 2                             |
|                     |                  |        |        |                 |        | (canavial) | CONAMA                               | CONAMA                               |
|                     | A1               | A2     | A3     | M1              | M2     | M3         | 357/06                               | 357/06                               |
| Oxigênio Dissolvido | 9,2              | 9,5    | 9,7    | 9,4             | 9,5    | 8,9        | não inferior a 6 mg/L O <sup>2</sup> | não inferior a 5 mg/L O <sup>2</sup> |
| Turbidez            | 11,5             | 9,8    | 12     | 33,3            | 7,1    | 16,2       | <40até 40 NTU                        | <100 até 100NTU                      |
| pH                  | 7,4              | 7,7    | 7,8    | 7,4             | 6,9    | 7,2        | 6,0 a 9,0                            | 6,0 a 9,0                            |
| Ferro               | 0,7*             | 0,5*   | 0,7*   | 3*              | 1*     | 3,2*       | 0,3mg/L Fe                           | 0,3mg/L Fe                           |
| Fluoreto            | 0,28             | 0,09   | 0,09   | 0,04            | 0,05   | 0,09       | 1,4mg/L F                            | 1,4mg/L F                            |
| Fósforo Total       | 0,006            | 0,003  | 0,007  | 0,016           | 0,005  | 0,009      | 0,025 mg/L P                         | 0,025 mg/L                           |
| Manganês total      | <0,02            | <0,02  | <0,02  | <0,02           | <0,02  | <0,02      | 0,1 mg/L Mn                          | 0,1 mg/L Mn                          |
| Nitrato             | 0,419            | 0,362  | 0,299  | 0,588           | 0,163  | 0,063      | 10,0 mg/L N                          | 10,0 mg/L N                          |
| Nitrito             | nd               | nd     | nd     | nd              | nd     | nd         | 1,0 mg/L N                           | 1,0 mg/L N                           |
| Sulfato total       | 7,963            | 4,743  | 4,723  | 4,453           | 5,486  | 3,624      | 250 mg/L SO4                         | 250 mg/L SO4                         |
| Glifosato           | nd               | nd     | nd     | nd              | nd     | nd         | 65 µg/L                              | 65 µg/L                              |
| Cloreto total       | 39,488           | 28,636 | 28,169 | 25,051          | 24,375 | 31,273     | 250 mg/L Cl                          | 250 mg/L Cl                          |
| Amônia              | nd               | nd     | nd     | nd              | nd     | nd         | 0,02 mg/lNH3                         | 0,02 mg/lNH3                         |
| Coliformes totais   | 4175*            | 5475*  | 4650*  | 2925            | 2775   | 3560       | <1000UFC/100mL                       | <5000UFC/100mL                       |
| Coliformes fecais   | 190              | 170    | 15     | 425             | 10     | 5          | <200UFC/100mL                        | <1000UFC/100mL                       |
| Bromato             | nd               | nd     | nd     | nd              | nd     | nd         | **mg/L                               | **mg/L                               |
| Cálcio              | 16,278           | 17,516 | 18,073 | 18,485          | 21,635 | 30,301     | **mg/L Ca                            | **mg/L Ca                            |
| Magnésio            | 6,191            | 4,654  | 4,319  | 4,222           | 4,358  | 5,273      | **mg/L Mg                            | **mg/L Mg                            |
| Potássio            | 1,946            | 1,215  | 1,114  | 1,112           | 0,923  | 2,009      | **mg/L K                             | **mg/L K                             |
| Sódio               | 25,958           | 17,823 | 17,782 | 17,953          | 17,064 | 21,966     | **mg/L Na                            | **mg/L Na                            |
| Clorito             | nd               | nd     | nd     | nd              | nd     | nd         | **mg/L                               | **mg/L                               |
| TOC                 | 4,93             | 3,33   | 3,08   | 4,44            | 2,38   | 7,84       | **mg/L NPCO                          | **mg/L NPCO                          |
| Condutividade       | 211,3            | 201,1  | 194,9  | 195,1           | 207,1  | 295        | **µS/cm                              | **µS/cm                              |

\* Valor acima do padrão, de acordo com a resolução CONAMA nº: 357/2005, \*\* Valores não encontrados na Resolução CONAMA nº: 357/2005, nd Valores não detectados pelas análises.

Para os parâmetros condutividade e carbono orgânico total (TOC), os maiores valores foram encontrados no rio Poxim Mirim, mas não sendo muito distante dos valores encontrados no rio Poxim Açu. A condutividade e o TOC são parâmetros que também podem indicar o nível de impacto causado pela poluição na água, mas os quais também não apresentam valores máximos na Resolução CONAMA para avaliar a qualidade da água doce. Geralmente para a condutividade, valores maiores que 100µS/cm sugerem um ambiente aquático degradado (CETESB, 2009).

De forma geral, os resultados obtidos referentes à análise da água durante a instalação do experimento se apresentaram semelhantes para os seis pontos amostrais. Não apresentando muita diferença entre os rios Poxim Mirim e Poxim Açu, para estimar

o nível de contaminação por insumos agrícolas. Os parâmetros das análises físico-químicas adotados no estudo se apresentaram inconstantes para estimar a qualidade da água, especialmente em relação a poluição causada pela prática agrícola convencional. A contaminação causada por agrotóxicos se destaca pela capacidade de submeter à variação espaço-temporal, que vão depender de fatores como a topografia, o solo, o clima, a presença da mata ripária e o tipo de manejo empregado na produção agrícola (DO VASCO *et al.*, 2011). Nem sempre a contaminação real que existe no ambiente aquático vai ser demonstrada nos resultados obtidos por meio das técnicas laboratoriais das análises físico-químicas das amostras de água.

## 5.2 INSETOS AQUÁTICOS

Foram coletados um total de 1077 insetos aquáticos, distribuídos em 34 famílias, pertencentes a oito ordens (Tabela 7): Hemiptera (8 famílias; 384 indivíduos), Ephemeroptera (4 famílias; 368 indivíduos), Coleoptera (5 famílias; 135 indivíduos), Diptera (5 famílias; 114 indivíduos), Odonata (9 famílias; 64 indivíduos), Trichoptera (1 família; 7 indivíduos), Plecoptera (1 família; 3 indivíduos) e Lepidoptera (1 família; 2 indivíduos) (Tabela 10).

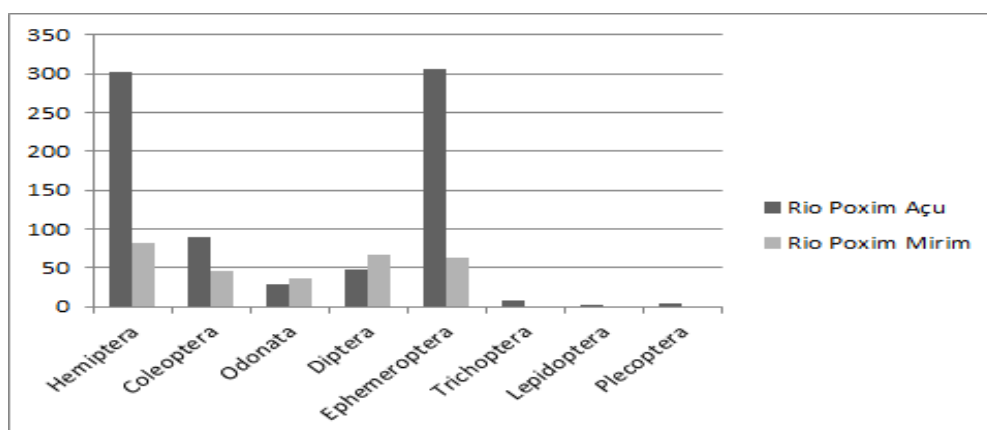
Da ordem Ephemeroptera foram coletados espécimes das famílias Baetidae, Caenidae, Leptophlebiidae e Leptohyphidae; da ordem Hemiptera foram encontradas as famílias Naucoridae, Veliidae, Mesoveliidae, Gerridae, Notonectidae, Nepidae, Corixidae e Belostomatidae; da ordem Coleoptera foram encontradas as famílias Dytiscidae, Elmidae, Hydrophilidae, Gyrinidae e Noteridae; da ordem Diptera foram Chironomidae, Simuliidae, Chaoboridae, Ceratopogonidae e Psychodidae; da ordem Odonata foram a Gomphidae, Corduliidae, Calopterygidae, Megapodagrionidae, Perilestidae, Coenagrionidae, Gomphidae, Protoneuridae e Libellulidae; da Trichoptera foram a Hydropsychidae; da Plecoptera a Perlidae e da Lepidoptera a família Pyralidae.

**Tabela 3:** Famílias de insetos encontradas no rio Poxim Açu, localizado no município de São Cristóvão-SE e no rio Poxim Mirim, localizado no município de Laranjeiras-SE, com seus respectivos valores de acordo com o índice BMWP.

|                     |                   |    | Pontos de coleta |    |    |                 |    |    | Valores de<br>Tolerância<br>BMWP |
|---------------------|-------------------|----|------------------|----|----|-----------------|----|----|----------------------------------|
|                     |                   |    | Rio Poxim Açu    |    |    | Rio Poxim Mirim |    |    |                                  |
|                     |                   |    | A1               | A2 | A3 | (canavial)      |    |    |                                  |
| M1                  | M2                | M3 |                  |    |    |                 |    |    |                                  |
| Ordem Odonata       |                   |    |                  |    |    |                 |    |    |                                  |
| Família             | Gomphidae         | 4  | 4                | 0  | 1  | 3               | 0  | 8  |                                  |
|                     | Corduliidae       | 6  | 0                | 0  | 0  | 6               | 0  | 8  |                                  |
|                     | Calopterygidae    | 1  | 0                | 1  | 0  | 0               | 0  | 8  |                                  |
|                     | Megapodagrionidae | 2  | 0                | 0  | 1  | 0               | 0  | 10 |                                  |
|                     | Perilestidae      | 3  | 1                | 0  | 0  | 0               | 0  | 0  |                                  |
|                     | Coenagrionidae    | 0  | 2                | 1  | 3  | 3               | 0  | 6  |                                  |
|                     | Protoneuridae     | 0  | 0                | 2  | 1  | 0               | 0  | 0  |                                  |
|                     | Libellulidae      | 0  | 0                | 1  | 14 | 3               | 1  | 8  |                                  |
| Ordem Coleoptera    |                   |    |                  |    |    |                 |    |    |                                  |
| Família             | Dytiscidae        | 1  | 0                | 0  | 0  | 0               | 12 | 3  |                                  |
|                     | Elmidae           | 2  | 0                | 3  | 2  | 0               | 19 | 5  |                                  |
|                     | Hydrophilidae     | 0  | 3                | 0  | 0  | 4               | 4  | 3  |                                  |
|                     | Gyrinidae         | 0  | 65               | 16 | 0  | 0               | 0  | 3  |                                  |
|                     | Noteridae         | 0  | 0                | 0  | 0  | 0               | 4  | 0  |                                  |
| Ordem Hemiptera     |                   |    |                  |    |    |                 |    |    |                                  |
| Família             | Naucoridae        | 1  | 3                | 0  | 1  | 0               | 0  | 3  |                                  |
|                     | Veliidae          | 92 | 30               | 94 | 40 | 3               | 1  | 3  |                                  |
|                     | Mesovelidae       | 1  | 0                | 0  | 0  | 0               | 0  | 3  |                                  |
|                     | Gerridae          | 8  | 5                | 3  | 2  | 6               | 1  | 3  |                                  |
|                     | Notonectidae      | 6  | 15               | 0  | 1  | 0               | 4  | 3  |                                  |
|                     | Nepidae           | 0  | 1                | 3  | 1  | 0               | 4  | 3  |                                  |
|                     | Corixidae         | 0  | 9                | 30 | 0  | 0               | 0  | 3  |                                  |
|                     | Belastomatidae    | 1  | 0                | 0  | 2  | 0               | 16 | 0  |                                  |
| Ordem Ephemeroptera |                   |    |                  |    |    |                 |    |    |                                  |
| Família             | Baetidae          | 26 | 10               | 32 | 0  | 1               | 0  | 5  |                                  |
|                     | Caenidae          | 81 | 45               | 10 | 7  | 40              | 0  | 5  |                                  |
|                     | Leptophlebiidae   | 42 | 15               | 9  | 3  | 5               | 0  | 10 |                                  |
|                     | Leptohyphidae     | 5  | 7                | 24 | 2  | 4               | 0  | 6  |                                  |
| Ordem Diptera       |                   |    |                  |    |    |                 |    |    |                                  |
| Família             | Chironomidae      | 30 | 8                | 0  | 11 | 33              | 13 | 2  |                                  |
|                     | Simuliidae        | 1  | 0                | 0  | 0  | 0               | 0  | 5  |                                  |
|                     | Chaboridae        | 1  | 1                | 0  | 0  | 1               | 1  | 0  |                                  |
|                     | Ceratopogonidae   | 2  | 3                | 2  | 1  | 3               | 0  | 4  |                                  |
|                     | Psychodidae       | 0  | 0                | 0  | 1  | 2               | 0  | 0  |                                  |
| Ordem Trichoptera   |                   |    |                  |    |    |                 |    |    |                                  |
| Família             | Hydropsychidae    | 5  | 0                | 2  | 0  | 0               | 0  | 5  |                                  |
| Ordem Lepidopetara  |                   |    |                  |    |    |                 |    |    |                                  |
| Família             | Pyralidae         | 0  | 1                | 1  | 0  | 0               | 0  | 7  |                                  |
| Ordem Plecoptera    |                   |    |                  |    |    |                 |    |    |                                  |
| Família             | Perlidae          | 0  | 0                | 3  | 0  | 0               | 0  | 10 |                                  |

O rio Poxim Açu apresentou um maior número de indivíduos coletados quando comparado com o rio Poxim Mirim. Indivíduos da família Caenidae, da ordem Ephemeroptera e da família Veliidae da ordem Hemiptera, foram as mais representativas neste estudo, ocorrendo com a maior frequência no rio Poxim Açu. As

ordens Trichoptera, Plecoptera e Lepidoptera, foram as que apresentaram as menores quantidades de indivíduos coletados, tendo sua ocorrência somente no rio Poxim Açu (Figura 4). A ordem que apresentou similaridade entre os dois rios, não havendo muita e nem baixa expressividade, foi a ordem Odonata.



**Figura 4:** Ordens dos insetos aquáticos coletados na sub-bacia do Rio Poxim.

A ausência de organismos pertencente às ordens Plecoptera e Trichoptera e a baixa ocorrência de organismos da ordem Ephemeroptera no rio Poxim Mirim indica o quanto esse rio se encontra impactado. Essas ordens são consideradas as mais sensíveis quanto a poluição e por esse motivo são utilizados nos índices bióticos para avaliação da qualidade da água.

### 5.3 PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DA DIVERSIDADE DE HABITAT (PARDH)

De acordo com a média dos valores obtidos em cada rio pelo PARDH, o rio Poxim Mirim foi o que teve uma menor pontuação (40 pontos), sendo classificado como impactado e o rio Poxim Açu (59,7 pontos), classificado como alterado, de acordo com a classificação de Callisto et al. (2002). Esses valores divergem de outros estudos feitos no rio Poxim Açu, que indica uma água de boa qualidade segundo a avaliação do PARDH (OLIVEIRA *et al.*, 2012, 2013).

Em campo foi perceptível a diferença no estado de conservação entre os rios. O rio Poxim Mirim visivelmente era possível notar o estado de degradação causado pelo



canavial. Em alguns trechos do rio Mirim, a mata ciliar era a própria cana de açúcar, desrespeitando às normas ambientais, sobre o limite de preservação da mata ciliar nos corpos d'água, comprometendo a quantidade e a qualidade da água. O aspecto da água era turvo e opaco, e em um dos seus trechos (M3), a água apresentava mau cheiro. A presença da erosão próxima às margens do rio e o assoreamento em seu leito são bastante acentuados, motivo pelo qual o rio é estreito e raso. Em um dos seus trechos (M1) foi observado sacos de areia, o que indica que naquele lugar ocorreu o represamento das águas.

Já no percurso do rio Poxim Açú a mata ripária estava mais preservada, mas em alguns trechos era possível verificar uma moderada erosão e o assoreamento no leito do rio, devido o tráfego de animais e dos moradores do assentamento Rosa Luxemburgo.

O PARDH se mostrou eficiente e vantajoso pelo seu baixo custo na avaliação ambiental, sendo apropriado para reforçar sobre a qualidade do ambiente aquático, juntamente com outros parâmetros analisados.

#### 5.4 ÍNDICES BIÓTICOS

De acordo com os resultados obtidos pelo índice BMWP (Biological Monitoring Working Party), foi obtido o valor de 142 pontos, o que qualifica as águas do rio Poxim Açú como Classe II, ou seja, água boa, que não se encontra poluída. Já rio Poxim Mirim obteve um valor de 102 pontos, classificado como Classe III, uma água aceitável, que se encontra pouco poluída. Os resultados obtidos para esse índice foram o que menos se enquadraram com a realidade observada em campo entre os rios Açú e Mirim, sendo que nos dois rios há a presença de contaminação na água já observada nas análises físico-químicas e bacteriológicas.

Já pelo índice BMWP -ASPT (Average Score Per Taxon) a pontuação obtida foi de 5,3 pontos para o rio Poxim Açú e 5,4 pontos para o rio Poxim Mirim. Ambos valores classificam as águas como qualidade duvidosa. Esse resultado indica que ambos os rios podem estar sujeitos a fatores ambientais que causam uma suave poluição mas a sua avaliação perante ao mesmo é incerto para se afirmar se a água sofre ou não poluição. Apesar dos valores semelhantes, os rios estão sujeitos a diferentes situações, sendo o Poxim Mirim visivelmente influenciado pela prática da agricultura convencional agregada ao uso de agrotóxicos, sendo este o principal fator estressante

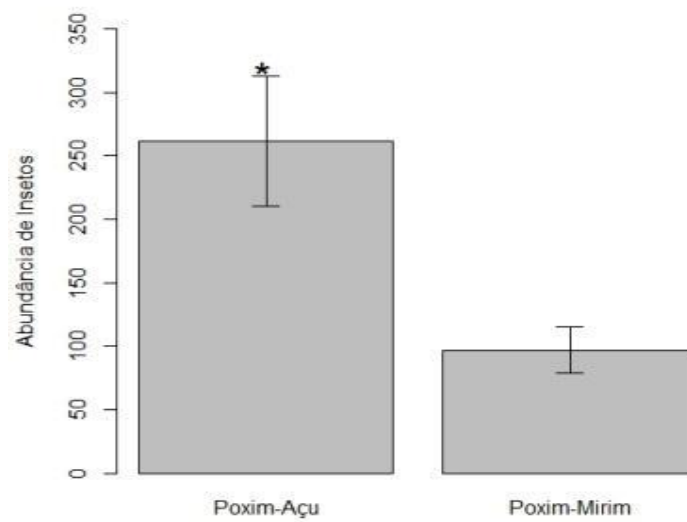
para a biota aquática, e o outro rio sem a presença desse fator, tendo o cuidado para que nenhum outro tipo de poluição, como o esgoto, pudesse ser um fator que interferissem nos resultados. No entanto esse índice não consegue diferenciar a situação no qual se encontram os rios.

Segundo o índice EPT (porcentagem de Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera), as águas do rio Poxim Açu obteve um valor de 40,2%, sendo classificada como regular e as águas do rio Poxim Mirim obteve 21,3%, sendo classificada como ruim. Esse índice foi o que melhor representou a realidade encontrada nos rios e o que mais se aproxima do resultado obtido pelo PARDH. Estudos anteriores realizados por Oliveira et al., (2012) e (2013) apontaram a água do rio Poxim Açu como uma água de boa qualidade por meio dos índices EPT e o BMWP. No presente estudo a classificação de água boa para esse rio, somente foi obtida pelo índice BMWP e não pelo índice EPT que considerou as águas do rio Poxim Açu como regular.

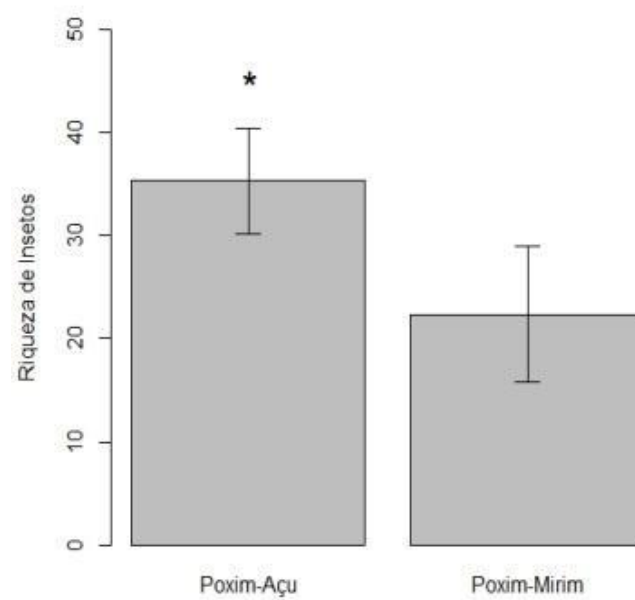
Apesar da alta frequência de indivíduos da ordem Ephemeroptera encontradas no rio Poxim Açu, a família mais abundante dessa ordem foi a Caenidae, considerada suavemente tolerante a contaminação da água (BARBOLA *et al.*, 2011). O que justifica também a sua ocorrência no rio Poxim Mirim, com maior expressividade no ponto M2. Esse trecho do rio Mirim foi o único ponto onde existia pequenos metros preservados de mata ciliar, razão pela qual foi encontrado mais indivíduos da ordem Ephemeroptera nessa localidade. O que nos permitiu observar que a mata ciliar proporcionou que esse trecho do rio Mirim, não fosse mais vulnerável a ações antrópicas, corroborando sobre a importância da mata ciliar na proteção das águas.

## 5.5 ÍNDICES ECOLÓGICOS

A abundância e a riqueza de insetos aquáticos apresentaram diferença significativa entre os rios Poxim Açu e Mirim. O rio Poxim Açu apresentou uma maior abundância ( $P = 0.02065$ ) (Figura 5) e uma maior riqueza ( $P = 0.05911$ ) (Figura 6) de indivíduos. Já para a diversidade não houve diferença significativa entre os rios ( $P = 0.2888$ ). Geralmente uma maior riqueza de organismos está associada a áreas mais preservadas (CARVALHO *et al.*, 2012). O rio Poxim Açu possivelmente está sofrendo uma menor perturbação antrópica em comparação com o rio Poxim Mirim, condizente com uma água que se encontra pouco contaminada.



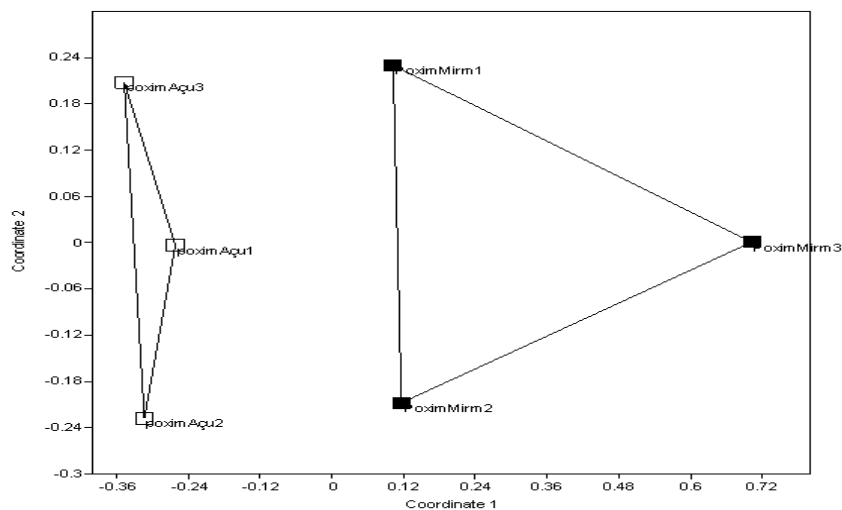
**Figura 5:** Abundância de espécies de insetos aquáticos registrada para os rios Poxim Açu e Mirim.



**Figura 6:** Riqueza de espécies de insetos aquáticos registrada para os rios Poxim Açu e Mirim.

Um trabalho realizado na região sul do Brasil que comparou a comunidade de macroinvertebrados aquáticos entre áreas úmidas naturais e lavouras de arroz irrigado associada ao uso de agrotóxicos demonstrou uma maior abundância e riqueza desses organismos nas áreas úmidas naturais em comparação com a lavoura de arroz irrigado. Nesse mesmo estudo também foi observado uma maior abundância de espécies da família Chironomidae em áreas de lavoura. No presente estudo também foi encontrado uma maior abundância desses organismos no Rio Poxim Mirim. Os quironomídeos são considerados organismos tolerantes a poluição e por esta razão, também são usados como bioindicadores de qualidade da água. A elevada presença desses organismos tem uma relação proporcional com o alto índice de matéria orgânica na água (MARQUES *et al.*, 1999). A grande quantidade de matéria orgânica na água pode ser devido o carregamento pela água da chuva ou da irrigação. Áreas, portanto, que não possuem mata ciliar preservada estará mais propícia a grandes concentrações de matéria orgânica ou contaminantes na água. A abundância desses organismos no rio Poxim Mirim reforça o quanto o ambiente aquático se encontra alterado

A ordenação do NMDS demonstra claramente a diferença na composição de espécies de insetos aquáticos entre os rios Poxim Açu e o Mirim, sendo o ponto M3 onde ocorreu uma maior diferença na composição de espécies (Figura 7). Esse trecho do rio Poxim Mirim foi o local onde apresentou as piores condições da água.



**Figura 7:** Análise da ordenação do NMDS para composição de espécies de insetos aquáticos para os rios Poxim Açu e Mirim.

Por alguma razão topográfica ou outro motivo desconhecido, esse trecho do rio está concentrando substâncias tóxicas ou um enriquecimento de matéria orgânica. A água apresentava além de alta turbidez e opacidade, mau cheiro o que justifica a diferença das espécies encontradas no ponto M3. As espécies encontradas em maior abundância nesse trecho do rio Mirim pertencem as famílias Dytiscidae, Belostomatidae e Libellulidae. Em outros estudos essas famílias já foram mencionadas como indicativo de contaminação da água por agrotóxicos e metais pesados (NEUMANN *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2014). Além dessas famílias, também foi observado uma maior abundância de indivíduos para a família Elmidae. Essa família é usada em um dos índices bióticos para avaliar a qualidade da água, mas, no entanto, não foi encontrado trabalhos que indiquem a sua presença referente a contaminação na água por algum determinado tipo de poluente. Contudo, a sua presença no presente estudo, evidencia a sua relação a ambientes aquáticos contaminados. As más condições encontradas na água influenciaram para uma maior ocorrência de organismos tolerantes a poluição, o que nos permite perceber sinais de ambiente aquático perturbado.

## 6 CONCLUSÃO

Os parâmetros das análises físico-químicas adotados no estudo foram inconstantes para estimar a qualidade da água, uma vez que os valores encontrados para diversos parâmetros antes do experimento modificaram dos valores obtidos durante a execução do experimento, no prazo de duas semanas, sendo que as primeiras análises apontaram uma reduzida qualidade da água para o rio Mirim e nas segundas análises apontaram uma reduzida qualidade da água para o rio Açu. Esses resultados podem ser devido a dificuldade de se detectar a poluição ambiental gerada pelo uso indiscriminado de agrotóxicos.

O PARDH classificou o rio Mirim como “Impactado” e o rio Açu como “Alterado”, e se mostrou um índice eficiente e vantajoso pelo seu baixo custo na avaliação ambiental e por se aproximar melhor da realidade encontrada.

Os índices ecológicos apresentaram uma diferença significativa entre os rios para abundância e riqueza de insetos aquáticos. A maior abundância e riqueza de insetos aquáticos no rio Poxim Açu em relação ao Poxim Mirim demonstra que o rio se

encontra menos perturbado pelas ações antrópicas e a diferença na composição de insetos aquáticos entre os rios corrobora para as diferenças na qualidade da água e seu estado de conservação.

A avaliação da qualidade da água pelos índices bióticos foram divergentes, sendo o índice EPT o que apresentou os resultados que melhor se adequam a realidade encontrada, classificando respectivamente os rios Açu e Mirim como “Regular” e “Ruim”. Contudo os índices EPT e o PARDH se mostram eficazes na avaliação do ecossistema aquático, sendo o mais apropriado para a análise de rios com diferentes níveis de degradação ambiental.

O rio Poxim Mirim foi o que apresentou as piores condições do ambiente aquático, o que demonstra que o rio sofre constante perturbação antrópica por conta da prática agrícola agregada ao uso de agrotóxicos. A manutenção da mata ciliar é extremamente importante para a conservação do ambiente aquático, o que vai minimizar a vulnerabilidade da biota aquática às ações antrópicas.

O estudo permitiu perceber a sensibilidade dos insetos aquáticos perante a contaminação na água. De fato, é importante que se faça mais estudos em cima da composição dos insetos aquáticos, principalmente no período chuvoso, onde existe a probabilidade de uma maior ocorrência de agrotóxicos na água. Dessa forma pode-se obter mais informações que ajudem a aprimorar cada vez mais os índices bióticos, para que eles sejam usados na tomada de decisão mais inteligente, voltada para a preservação dos recursos hídricos.

## 7 REFERÊNCIAS

- ALVES, J. D. P. H., GARCIA, C. A. B., DE OLIVEIRA, A., NETTO, A., FERREIRA, R. A., SANTOS, D. B., & COSTA, A. S. (2007). Rio Poxim: qualidade da água e suas variações sazonais. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 17, 2007.
- ALVES, S. R., & OLIVEIRA-SILVA, J. J. (2003). Avaliação de ambientes contaminados por agrotóxicos. *É veneno ou é remédio*, 137-156.
- ARIAS, A. R. L., BUSS, D. F., ALBURQUERQUE, C. D., INÁCIO, A. F., FREIRE, M. M., EGLER, M., ... & BAPTISTA, D. F. (2007). Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. *Ciência & Saúde Coletiva*, 12(1), 61-72.
- BAGLIANO, R. V. (2012). Principais organismos utilizados como bioindicadores relatados com uso de avaliadores de danos ambientais. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 2(1), 24-40.
- BAPTISTA, D. F. (2008). Uso de macroinvertebrados em procedimentos de biomonitoramento em ecossistemas aquáticos. *Oecologia Brasiliensis*, 12(3), 6.
- BAPTISTA, D. F., BUSS, D. F., & EGLER, M. (2003). Macroinvertebrados como bioindicadores de ecossistemas aquáticos contaminados por agrotóxicos. *É Veneno ou é Remédio*, 157-175.
- BARBOLA, I. F., MORAES, M. F., ANAZAWA, T. M., NASCIMENTO, E. A., SEPKA, E. R., POLEGATTO, C. M., & SCHÜHLI, G. S. (2011). Avaliação da comunidade de macroinvertebrados aquáticos como ferramenta para o monitoramento de um reservatório na bacia do rio Pitanguí, Paraná, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*, 101(1-2), 15-23.
- BARRAGAN, B. L. G. (2009). Sistemas Nacionais de Vigilância da Qualidade da Água para consumo humano: estudo comparativo Brasil e Colômbia.
- BRITTO, F. B., DO VASCO, A. N., PEREIRA, A. P. S., JÚNIOR, A. V. M., & NOGUEIRA, L. C. (2011). Herbicidas no alto Rio Poxim, Sergipe e os riscos de contaminação dos recursos hídricos. *Revista ciência agrônômica*, 43(2), 390-398.
- BUSS, D. F., BAPTISTA, D. F., & NESSIMIAN, J. L. (2003). Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios Conceptual basis for the application of biomonitoring on stream water. *Cad. Saúde Pública*, 19(2), 465-473.
- CALLISTO, M., FERREIRA, W., MORENO, P., GOULART, M., & PETRUCIO, M. (2002). Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensis*, 14(1), 91-98.

- CALLISTO, M., GONÇALVES JR, J. F., & MORENO, P. (2005). Invertebrados aquáticos como bioindicadores. *Navegando o Rio das Velhas das Minas aos Gerais*, 1, 1-12.
- CARVALHO, F. S. P., ALMEIDA, C. J. S., & FERREIRA, A. L. N. (2012). Riqueza de galhas entomógenas em áreas antropizadas e preservadas de Caatinga. *Revista árvore*, 36(2), 269-277.
- COMPANHIA, DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.(2009). Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo.
- CONCEIÇÃO, A. L. (2011). A expansão do agronegócio no campo de Sergipe. *Revista GeoNordeste*, (2).
- DAL SOGLIO, F. (2009). A Crise Ambiental Planetária: A agricultura e o desenvolvimento. *Agricultura e sustentabilidade*, 13.
- FAVERO, S., DE SOUZA, E. M., & MATIAS, R. (2005). Ecotoxicidade do paration metílico e glifosato para *Poecilia reticulata* (PISCES: POECILIIDAE) em laboratório. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 9(2), 315-324.
- FAY, E. F., & SILVA, C. D. S. (2006). Índice do uso sustentável da água (ISA-ÁGUA)-região do sub-médio São Francisco. *Embrapa Meio Ambiente*.
- FERREIRA, A. P. (2003). Inspeção microbiológica para avaliação da qualidade das águas ambientais. *Rev Bras Farm*, 84(2), 61-3.
- FREITAS, A. V. L., LEAL, I. R., UEHARA, M. P., & IANNUZZI, L. (2006). Insetos como indicadores de conservação da paisagem. *Biologia da Conservação: Essências. São Carlos, RiMa Editora*, 357-384.
- GONÇALVES, F. B. (2009). Análise comparativa de índices bióticos de avaliação de qualidade de água, utilizando macroinvertebrados, em um rio litorâneo do estado do Paraná.
- GOULART, M. D., & CALLISTO, M. (2003). Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *Revista da FAPAM*, 2(1), 153-164.
- GREGOLIS, T. B. L., PINTO, W. D. J., & PERES, F. (2012). Percepção de riscos do uso de agrotóxicos por trabalhadores da agricultura familiar do município de Rio Branco, AC. *Rev. bras. saúde ocup*, 99-113.
- HAMADA, N., NESSIMIAN, J. L., & QUERINO, R. B. (2014). Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. *Manaus: Editora do INPA*, 724.
- HODKINSON, I. D., & JACKSON, J. K. (2005). Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems. *Environmental management*, 35(5), 649-666.



MANCINI, L., FORMICHETTI, P., ANSELMO, A., TANCIONI, L., MARCHINI, S., & SORACE, A. (2005). Biological quality of running waters in protected areas: the influence of size and land use. *Biodiversity and Conservation*, 14(2), 351-364.

MARQUES, M. G. S. M., FERREIRA, R. L., & BARBOSA, F. A. R. (1999). A comunidade de macroinvertebrados aquáticos e características limnológicas das lagoas Carioca e da Barra, Parque Estadual do Rio Doce, MG. *Revista Brasileira de Biologia*, 59(2), 203-210.

MELLO, I. C. M. F. D. (2013). Resiliência da comunidade de macroinvertebrados aquáticos após a aplicação dos agrotóxicos nas lavouras de arroz irrigado no Sul do Brasil.

MUGNAI, R., BUSS, D. F., OLIVEIRA, R. B., SANFINS, C., CARVALHO, A. D. L., & BAPTISTA, D. F. (2011). Application of the biotic index IBE-IOC for water quality assessment in wadeable streams in south-east Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 23(1), 74-85.

MUGNAI, R., NESSIMIAN, J. L., & BAPTISTA, D. F. (2010). Manual de identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro: para atividades técnicas, de ensino e treinamento em programas de avaliação da qualidade ecológica dos ecossistemas lóticos. *Technical Books Editora*.

NASCIMENTO, L. V. D., & VON SPERLING, M. (1998). Os padrões brasileiros de qualidade das águas e os critérios para proteção da vida aquática, saúde humana e animal. In XXVI *Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais* (pp. 1-11).

NETO, M. D. L. F., & SARCINELLI, P. D. N. (2009). Agrotóxicos em água para consumo humano: uma abordagem de avaliação de risco e contribuição ao processo de atualização da legislação brasileira. *Eng Sanit Ambient*, 14(1), 69-78.

NEUMANN, M., BAUMEISTER, J., LIESS, M., & SCHULZ, R. (2002). An expert system to estimate the pesticide contamination of small streams using benthic macroinvertebrates as bioindicators: II. The knowledge base of LIMPACT. *Ecological Indicators*, 2(3), 239-249.

OLIVEIRA, A. V. S., ARAUJO, C. C., PEREIRA, T. P. B. & DANTAS, J. O. (2012). Biomonitoramento da qualidade da água no rio Poxim Açú, São Cristóvão, Sergipe. In VII *CONNEPI-Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação*.

OLIVEIRA, A. V. S., ARAUJO, C. C., PEREIRA, T. P. B., FERREIRA, A. N., VIANA-JUNIOR, A. B. & DANTAS, J. O. (2013). Diversidade de insetos aquáticos e sua relação com a qualidade da água no rio Poxim Açú, São Cristóvão, SE. *Cadernos de Agroecologia*, 8(2).

OLIVEIRA, M. A. D., GOMES, C. F. F., PIRES, E. M., MARINHO, C. G. S., & DELLA LUCIA, T. M. C. (2014). Environmental bioindicators: insects as a tool for biodiversity monitoring. *Revista Ceres*, 61, 800-807.

PAVAN, B. O. (2014). Brasil é o maior consumidor de agrotóxico do mundo. *Brasil de Fato*, 19.

QUEIROZ, J. D., SILVA, M. S. G. M., & TRIVINHO-STRIXINO, S. (2008). Organismos Bentônicos: biomonitoramento da qualidade de água. *Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente*, 8-25.

R DEVELOPMENTE CORE TEAM. (2014). R: A language and environment for statistical computing.

RESENDE, A. V. (2002). Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. *Embrapa Cerrados*.

REYNOL, F. (2010). Contaminantes emergentes na água. *Agência FAPESP*.

RICARDO, G. C. (2012). Indicadores de contaminação ambiental por agrotóxicos: instrumentos de avaliação pericial.

ROCHA, J. R. M., DE ALMEIDA, J. R., LINS, G. A., & DURVAL, A. (2010). Insects as indicators of environmental changing and pollution: a review of appropriate species and their monitoring. *Holos environment*, 10(2), 250-262.

SANTOS, J. O., DE SOUSA, R. M. S., GOMES, M. A. D., DE MIRANDA, R. C., & DE MEDEIROS, I. G. N. (2013). A qualidade da água para o consumo humano: Uma discussão necessária. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 7(2), 19-26.

SILVA, R. C., MACÊDO, S., CAETANO, D. L. F., GATZKE, E. G., VIEIRA, F. E. G., & DE PONTES SILVA, L. C. (2001). Aplicação do índice BMWP em uma micro bacia hidrográfica tributária do reservatório de Chavantes, município de Ribeirão Claro-Paraná.

SILVEIRA, A. M. (2014). Avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Sergipe usando análises multivariadas de dados.

SILVEIRA, M. P. (2004). Aplicação do biomonitoramento para avaliação da qualidade da água em rios. *Embrapa Meio Ambiente. Documentos*.

SOARES, J. (2001). O rio Poxim, processo urbano e meio ambiente. *São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe-UFS/Gestão de Recursos Hídricos*.

STOPPELLI, I. M. D. B. S., & MAGALHAES, C. P. (2005). Saúde e segurança alimentar: a questão dos agrotóxicos. *Ciênc. saúde coletiva*, 91-100.

VASCO, A. N., BRITTO, F. B., PEREIRA, A. P. S., JÚNIOR, M., VIEIRA, A., GARCIA, C. A. B., & NOGUEIRA, L. C. (2011). Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente e Água*, 6(1).

VEIGA, M. M., SILVA, D. M., VEIGA, L. B. E., & DE CASTRO FARIA, M. V. (2006). Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil Pesticide pollution in water systems in a small rural community in Southeast Brazil. *Cad. Saúde Pública*, 22(11), 2391-2399.

VICTORINO, C. J. A. (2007). Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. *EDIPUCRS*.

## ANEXOS

### ANEXO

**Quadro 1:** Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats modificado do protocolo da Agência de Proteção Ambiental da cidade de Ohio EUA por Callisto et al., (2002).

| Parâmetros  | Pontuação           |   |   |
|---|---------------------|---|---|
|   | 4 pontos            | 2 pontos  | 0 pontos  |
| 1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade) | Vegetação natural   | Campo de pastagem/<br>Agricultura/<br>Monocultura/<br>Reflorestamento | Residencial/ Comercial/<br>Industrial   |
| 2. Erosão próxima e ou nas margens do rio e assoreamento do seu leito | Ausente             | Moderada  | Acentuada   |
| 3. Alterações antrópicas  | Ausente             | Alterações de origem doméstica (esgoto, lixo)                         | Alteração de origem industrial/ urbana (fábricas, siderurgias, canalização do curso do rio) |
| 4. Cobertura vegetal no leito   | Parcial             | Total   | Ausente   |
| 5. Odor da água   | Nenhum              | Esgoto (ovo podre)  | Óleo/ Industrial  |
| 6. Oleosidade da água   | Ausente             | Moderado  | Abundante   |
| 7. Transparência da água  | Transparente        | Turva (cor de chá forte)  | Opaca ou colorida   |
| 8. Odor do sedimento (fundo)  | Nenhum              | Esgoto (ovo podre)  | Óleo/ Industrial  |
| 9. Oleosidade de fundo  | Ausente             | Moderado  | Abundante   |
| 10. Tipo de fundo   | Pedras/<br>cascalho | Lama/ areia   | Cimento/ canalizado   |

## ANEXO 2

**Quadro 2:** Protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats modificado de Hannaf

| Parâmetros                 | Pontuação  |  |   |  |
|----------------------------|--|--|---|--|
|                            | 5 pontos   | 3 pontos   | 2 pontos  | 0 pontos   |
| 11- Tipos de fundo         | Mais de 50% com habitats diversificados (pedaços de troncos, submersos, cascalhos e estáveis).                                 | 30 a 50 % de habitats diversificados; habitats adequados para a manutenção das populações de organismos aquáticos. | 10 a 30 % de habitats diversificados; disponibilidade de habitats insuficiente, substratos frequentemente modificados.                              | Menos que 10 % de habitats diversificados; ausência de habitats óbvia; substrato rochoso instável para fixação dos                       |
| 12- Extensão de rápidos.   | Rápidos e corredeiras bem desenvolvidos; remansos tão largos quanto o rio e com o comprimento igual ao dobro da largura do rio | Rápidos com a largura igual à do rio, mas com comprimento menos do que o dobro da largura do rio.                  | Trechos rápidos podem estar ausentes; rápidos não tão largos quanto o rio e seu comprimento menos que o dobro da largura do rio.                    | Rápidos ou corredeiras inexistentes  |
| 13- Frequências de rápidos | Rápidos relativamente frequentes; distâncias entre remansos dividida pela largura do rio entre 5 e 7.                          | Rápidos não frequentes; distâncias entre remansos dividida pela largura do rio entre 7 e 15.                       | Rápidos ou corredeiras ocasionais; habitats formados pelos contornos do fundo; distância entre remansos dividida pela largura do rio entre 15 e 25. | Geralmente com lâmina d'água 'lisa' ou com rápidos rasos, pobreza de habitats; distância entre rápidos dividida pela largura do rio > 25 |
| 14- Tipos de substrato     | Seixos abundantes (principalmente em nascentes de rios).   | Seixos abundantes; cascalho comum.   | Fundo formado predominantemente por cascalho; alguns seixos   | Fundo pedregoso; seixos ou lamoso  |

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
| 15- Deposição de lama                  | Entre 0 e 25 % do fundo coberto por lama (silte e argila).   | Entre 25 e 50 % do fundo coberto por lama.   | Entre 50 e 75 % do fundo coberto por lama.   | Mais de 75 % do fundo coberto por lama.  |
| 16- Depósitos sedimentares             | Menos de 5 % do fundo com deposição de lama; ausência de deposição nos remansos. Provavelmente, a correnteza arrasta tudo o material fino. | Alguma evidência de modificação no fundo, principalmente aumento de cascalho, areia ou lama; 5 a 30 % do fundo afetado, suave deposição nos remansos.  | Deposição moderada de cascalho novo, areia ou lama nas margens; entre 30 e 50 % do fundo afetado; deposição moderada nos remansos.         | Grandes depósitos de lama, margens assoreadas; mais de 50 % do fundo modificado; remansos ausentes devido à significativa deposição de sedimentos. |
| 17-Alterações no canal do rio          | Canalização (retificação) ou dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.  | Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de pontes; evidência de modificação há mais de 20 anos.                                  | Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80 % do rio modificado.   | Margens cimentadas; acima de 80 % do rio modificado.   |
| 18- Características do fluxo das águas | Fluxo relativamente igual em toda a largura do rio; mínima quantidade de substrato exposta.  | Lâmina d'água acima de 75 % do canal do rio; ou menos de 25 % do substrato exposto.  | Lâmina d'água entre 25 e 75 % do canal do rio, e/ou maior parte do substrato nos rápidos exposto.  | Lâmina d'água escassa e presente apenas nos remansos.  |
| 19- Presença de vegetação ripária.     | Acima de 90 % com vegetação ripária nativa, incluindo árvores, arbustos ou macrófitas, mínima evidência de desflorestamento; todas         | Entre 70 e 90 % com vegetação ripária nativa; desflorestamento evidente mas não afetando o desenvolvimento da vegetação; maioria das plantas atingindo | Entre 50 e 70 % com vegetação ripária nativa, desflorestamento óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada; menos da metade das | Menos de 50 % da vegetação ripária nativa; desflorestamento muito acentuado.   |

|                                    |  |  |  |  |
|------------------------------------|--|--|--|--|
|                                    | as plantas atingindo a altura 'normal'.  | a altura 'normal'.   | plantas atingindo a altura 'normal'.   |  |
| 20- Estabilidade das margens.      | Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente; pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5 % da margem afetada. | Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30 % da margem com erosão.  | Moderadamente instável; entre 30 e 60 % da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes. | Instável; muitas áreas com erosão, frequentes áreas descobertas nas curvas do rio; erosão óbvia entre 60 e 100 % da margem |
| 21- Extensão da vegetação ripária. | Largura da vegetação ripária maior que 18 m; sem influência de atividades antrópicas (agropecuária, estradas, etc).                | Largura da vegetação ripária entre 12 e 18 m; mínima influência antrópica.                         | Largura da vegetação ripária entre 6 e 12 m; influência antrópica intensa                                | Largura da vegetação ripária menor que 6 m; vegetação restrita ou ausente devido atividade antrópica.                      |
| 22- Presença de plantas aquáticas  | Pequenas macrófitas aquáticas e/ou musgos distribuídos pelo leito  | Macrófitas aquáticas ou algas filamentosas ou musgos distribuídos no rio, substrato com perifíton. | Algas filamentosas ou macrófitas em poucas pedras ou alguns remansos, perifíton abundantes e biofilme.   | Ausência de vegetação aquática no leito do rio ou grandes bancos de macrófitas.  |

### ANEXO 3

**Quadro 3:** Famílias agrupadas de acordo com o seu nível de sensibilidade a contaminação no ambiente aquático, usado pelo índice BMWP( Biological Monitoring Working Party) modificado IAP/SEMA 2003. Retirado de Da Silva et al. (2011).

| <b>Famílias</b>  | <b>Pontuação</b> |
|--|------------------|
| Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Potamanthidae, Ephemeridae, Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae, Aphelocheiridae, Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae, Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae, Calamoceratidae, Helicopsychidae, Megapodagrionidae, Athericidae, Blephariceridae | 10               |
| Astacidae, Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegastridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae, Psychomyiidae, Philopotamidae, Glossosomatidae   | 8                |
| Ephemerellidae, Prosopistomatidae, Nemouridae, Gripopterygidae, Rhyacophilidae, Polycentropodidae, Limnephelidae, Ecnomidae, Hydrobiosidae, Pyralidae, Psephenidae   | 7                |
| Neritidae, Viviparidae, Ancylidae, Thiaridae, Hydroptilidae, Unionidae, Mycetopodidae, Hyriidae, Corophilidae, Gammaridae, Hyalellidae, Atyidae, Palaemonidae, Trichodactylidae, Platycnemididae, Coenagrionidae, Leptohyphidae  | 6                |
| Oligoneuridae, Polymitarcyidae, Dryopidae, Elmidae, Helophoridae, Aeglidae, Hydrochidae, Hydraenidae, Clambidae, Hydropsychidae, Tipulidae, Simuliidae, Planariidae, Dendrocoelidae, Dugesiidae  | 5                |
| Baetidae, Caenidae, Haliplidae, Curculionidae, Chrysomelidae, Tabanidae, Stratiomyidae, Empididae, Dolichopodidae, Dixidae, Ceratopogonidae, Anthomyidae, Limoniidae, Psychodidae, Sciomyzidae, Rhagionidae, Sialidae, Corydalidae, Piscicolidae, Hydracarina  | 4                |
| Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae (Limnecoridae), Pleidae, Notonectidae, Corixidae, Veliidae, Helodidae, Hydrophilidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Valvatidae, Hydrobiidae, Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Bithyniidae, Bythinellidae, Sphaeridae, Glossiphonidae, Hirudidae, Erpobdellidae, Asellidae, Ostracoda                                      | 3                |
| Chironomidae, Culicidae, Ephydriidae, Thaumaleidae   | 2                |
| Oligochaeta (toda a classe), Syrphidae   | 1                |